

ANALISIS SENYAWA FITOKIMIA DAUN *Moringa oleifera* DARI KAWASAN GEOTERMAL ACEH BESAR SEBAGAI KANDIDAT ANTIINFLAMASI

Analysis of Phytochemical Compounds of Moringa oleifera Leaves from The Geothermal Area of Aceh Besar as Anti-inflammatory Candidate

Tahara Dilla Santi^{1*}, Aditya Candra²

^{1*} Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Muhammadiyah Aceh

² Fakultas Kedokteran, Universitas Abulyatama

*Email: tahara.dilla@unmuha.ac.id

ABSTRACT

Indonesia is home to a diversity of herbal plants, particularly in Aceh. *Moringa oleifera* is traditional medicinal plant utilized by locals in the geothermal area Aceh Besar, recognized for its anti-inflammatory properties. However, the bioactive compounds in *M. oleifera* leaves sourced from le Seum have not been documented, making it challenging to explain the roles of the compounds scientifically to anti-inflammatory factors. This research aimed to identify the phytochemical compounds in the ethanol extract of *M. oleifera* leaves (referred to as EDM) and analyze the physicochemical characteristics of the soil in the geothermal area. This study used a qualitative design to identify EDM compounds with GC-MS and soil physicochemistry. The identification of EDM compounds is conducted through gas chromatography with mass spectrometry (GC-MS). The physicochemical properties of the soil are assessed by examining its texture, pH, organic carbon content, total nitrogen, exchangeable cations, and phosphorus. Sample collection on topsoil (0-20 cm) with an area of 100cmx100cm on one land where *M. oleifera* plants grow in le Seum area in September 2024. A soil sample of 500g was using several methods, namely the hydrometer method, pH meter, Walkey and Black, ammonium acetate 1M pH 7, Kjeldahl, KCl 1N, Bray 1, HCl 25%, and DTPA extraction. The soil test result showed classified as silty clay. The results GC-MS indicated the presence 11 metabolites, including linolenic acid, phytol, 9,12,15-octadecatrienoic acid ethyl ester, hexadecanoic acid, neophytadiene, gamma-tocopherol, vitamin E, squalene, icosane, and beta-pinene. EDM from the le Seum contains compounds that are beneficial in anti-inflammatory.

Keywords: anti-inflammatory, GC-MS, geothermal, *M. oleifera*, phytochemical compounds

ABSTRAK

Indonesia adalah rumah bagi beragam tanaman herbal, khususnya di Aceh. *Moringa oleifera* merupakan tanaman obat tradisional yang dimanfaatkan oleh penduduk setempat di daerah geotermal, Aceh Besar, yang dikenal karena sifat antiinflamasi. Namun, senyawa bioaktif yang terdapat dalam daun *M. oleifera* yang bersumber dari le Seum belum terdokumentasikan, sehingga sulit untuk menjelaskan secara ilmiah peran senyawa terkait sebagai antiinflamasi. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi senyawa fitokimia dalam ekstrak etanol daun *M. oleifera* (disebut EDM) dan menganalisis karakteristik fisikokimia tanah di daerah geotermal. Penelitian ini menggunakan desain kualitatif untuk mengidentifikasi senyawa EDM dengan GC-MS dan fisikokimia tanah. Identifikasi senyawa EDM dilakukan melalui kromatografi gas dengan spektrometri massa (GC-MS). Sifat fisikokimia tanah dinilai dengan memeriksa teksturnya, pH, kandungan karbon organik, total nitrogen, kation yang dapat dipertukarkan, dan fosfor. Pengambilan sampel pada lapisan tanah atas (0-20 cm) dengan luas 100cm x 100cm pada salah satu lahan tempat tumbuhnya tanaman *M.*

oleifera di daerah le Seum pada bulan September 2024. Sampel tanah sebanyak 500 g disortir, dikeringkan, digiling, dihomogenkan dan dianalisis menggunakan beberapa metode yaitu metode hydrometerpH meter, Walkey dan Black, amonium asetat 1M pH 7, Kjeldahl, KCl 1N, Bray 1, HCl 25%, dan ekstraksi DTPA. Hasil uji tanah menunjukkan tergolong lempung berdebu. Hasil GC-MS menunjukkan adanya 11 metabolit antara lain asam linolenat, fitol, etil ester asam 9,12,15-oktadekatrienoat, asam heksadekanoat, neofitadiena, gamma-tokoferol, vitamin E, skualena, ikosana, dan beta-pinena. EDM dari le Seum mengandung senyawa yang bermanfaat sebagai anti-inflamasi.

Kata kunci: antiinflamasi, GC-MS, geotermal, *M. oleifera*, senyawa fitokimia

PENDAHULUAN

Analisis fitokimia telah digunakan untuk mengidentifikasi komponen tanaman herbal yang bermanfaat sejak zaman dahulu. Pengobatan herbal berbasis tanaman diakui dapat mencegah dan mengobati berbagai penyakit. Selain itu, pengobatan herbal telah divalidasi, menawarkan peluang signifikan bagi perusahaan farmasi untuk menciptakan produk herbal yang aman dan efektif. Akibatnya, individu cenderung lebih menyukai pengobatan herbal karena harganya terjangkau dan ketersediaannya yang mudah dibandingkan dengan pengobatan medis modern [1], [2]

Pada tahun 2013, WHO menetapkan strategi pengobatan tradisional untuk tahun 2014-2023, yang menekankan integrasi praktik tradisional dan komplementer untuk keamanan, kualitas tinggi, dan lebih efektif. Manfaat terapeutik tanaman tradisional telah digunakan sekitar 80% populasi global. Namun demikian, hanya sekitar 20% tanaman di seluruh dunia yang telah menjalani pengujian farmasi atau biologis [3]. Tumbuhan menghasilkan metabolit sekunder yang variasinya bergantung pada spesies, umur, iklim, dan faktor ekologi. Selain itu, komponen bioaktif menunjukkan peningkatan aktivitas karena efek sinergis dari berbagai metabolit yang ada dalam tumbuhan. Ekstraksi tumbuhan dilakukan dengan menggunakan berbagai pelarut (etanol, metanol, n-heksana) untuk memperoleh terpenoid, tanin, alkaloid, terpenoid, fenol, steroid, dan flavonoid [4]–[6].

M. oleifera sangat bermanfaat bagi kesehatan karena memiliki efek terapeutik yang dapat dimanfaatkan sebagai antiinflamasi, anatioksidan, antikonvulsan, antidiabetik, antihipertensi, antibakteri, agen antikanker, zat hepatoprotektif, agen neuroprotektif, dan anti lelah. Komponen metabolik sekunder dari tanaman ini meliputi quercetin, niazirin, niaziminin, metionin, sistein, terpenoid, zeatin, alkaloid, tanin, dan steroid. Daun *M. oleifera* memiliki kemampuan untuk membantu pengobatan penyakit, meningkatkan fungsi jaringan endotel, mengurangi tekanan darah, dan memberikan manfaat kesehatan lebih lanjut. Berkat keunggulan senyawa metabolik esensial dan sekunder yang ditemukan dalam tanaman ini, tanaman ini membantu meredakan nyeri, mencegah malnutrisi, mengatasi sindrom metabolik, mengelola diabetes melitus, dan memainkan peran penting dalam mengatasi kelelahan, sehingga membuatnya menjadi pilihan masyarakat [7], [8].

Tanah merupakan salah satu sumber daya terpenting bagi tanaman [4], [9], [10]. Kondisi tanah secara signifikan memengaruhi distribusi dan perkembangan vegetasi. Kesuburan tanah merupakan faktor vital yang memengaruhi pertumbuhan tanaman. Kadar nitrogen (N), fosfor (P), kalium (K), serta berbagai komponen organik dan anorganik, mikronutrien, dan air semuanya berkontribusi terhadap hal ini. Karakteristik kimia tanah tertentu yang penting untuk pertumbuhan tanaman meliputi pH [11], nitrogen total (N total), dan mobilitas fosfor (P) yang dapat diakses tanaman, bersama dengan kalium (K), kalsium (Ca), magnesium (Mg), dan natrium (Na) [12].

Bioaktivitas daun terkait dengan karakteristik fisik dan kimia tanah. Beberapa penelitian mendokumentasikan zat fitokimia dan efek farmakologis *M. oleifera* yang berasal dari berbagai negara [8], [13]–[15]. Namun, belum ada penelitian yang meneliti

kandungan fitokimia *M. oleifera* (EDM) di kawasan geothermal, Aceh Besar. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis senyawa fitokimia daun *M. oleifera* melalui Kromatografi Gas dan Spektrometri Massa (GC-MS) yang dipengaruhi oleh sifat fisiko-kimia tanah.

METODE

Penelitian ini merupakan desain kualitatif untuk mengidentifikasi senyawa metabolit sekunder yang terkandung dalam daun *M. oleifera* menggunakan metode GC-MS. Selanjutnya dilakukan pengujian sampel tanah secara kualitatif menggunakan beberapa metode yaitu hydrometer, pH meter, Walkey and Black, ammonium asetat 1M pH 7, Kjeldahl, KCl 1N, Bray 1, HCl 25%, dan ekstraksi DTPA. Pengambilan sampel daun dan tanah dilaksanakan pada bulan September 2024 di Kawasan Ie Seum, Aceh Besar.

Penyiapan EDM dan Analisis GC-MS

Daun *M. oleifera* diambil sebanyak 2 kg dari kawasan Ie Seum Aceh Besar. Karakteristik daun tidak terlalu tua dan tidak terlalu muda dengan warna hijau segar serta tidak ada hama atau gigitan ulat. Daun dibersihkan secara menyeluruh dan dibilas tiga kali dengan air mengalir, kemudian dibiarkan kering pada suhu ruangan (25°C) di tempat teduh selama enam hari hingga mencapai berat kering yang stabil. Daun kering kemudian diserbuk menjadi bubuk halus menggunakan blender (Miyako, Indonesia) dan disaring melalui saringan (D.berite, Shanghai, 40 mesh) untuk menghasilkan tepung. Tepung dimasukkan dalam wadah kaca sebanyak 500 gram dan direndam dalam pelarut etanol (96% v/v) dengan rasio 1:5 selama 72 jam yang merupakan proses maserasi. Filtrat diperoleh dengan menyaring larutan menggunakan kertas Whatman No. 41, dan selanjutnya dipekatkan menggunakan rotary evaporator (BUCHI R-300, Swiss) dan menghasilkan ekstrak daun *M. oleifera* (EDM). Pengujian GC-MS dilakukan satu kali di Laboratorium Kesehatan Daerah Jakarta. EDM dianalisis menggunakan kromatografi gas yang dilengkapi dengan sampel otomatis (Agilent Technologies 7890 Gas Chromatograph, California, AS). Kolom kapiler Agilent 7890/5975 GCMS memiliki dimensi 30 mm (panjang) x 0,2 mm (lebar) x 0,1 mm (tinggi) dan dioperasikan pada energi ionisasi 70 eV dalam mode tumbukan elektron [7], [16]. Helium diinjeksi 1,2 mL/menit ke dalam sistem lalu diinjeksi EDM (5 µL; rasio 8:1). Suhu sumber ion dan injektor masing-masing ditetapkan pada 230°C dan 250°C. Oven awalnya dipanaskan hingga 80°C, meningkat pada laju termal 80-150°C/menit, dan kemudian meningkat hingga 20-280°C/menit. .

Identifikasi Senyawa Bioaktif EDM

Hasil uji GC-MS dari labkesda Jakarta memperlihatkan spektrum senyawa bioaktif dalam EDM. Selanjutnya dicocokkan dengan spektrum massa yang tersedia dalam basis data W8NO8I, yang dapat diakses di <https://chemdata.nist.gov>. Nama-nama bahan kimia, strukturnya, dan berat molekulnya diidentifikasi. GCMS dikenal sebagai teknik yang efektif untuk mendeteksi senyawa volatil, seperti hidrokarbon rantai panjang dan bercabang, alkohol, asam, dan ester. Konstituen fitokimia yang diidentifikasi dalam analisis GC-MS diketahui berpotensi berkontribusi pada sifat terapeutik tanaman. Identifikasi senyawa fitokimia dikonfirmasi menggunakan luas puncak, waktu retensi, dan rumus molekul. Data yang relevan mencakup waktu retensi (RT), rumus molekul, berat molekul (BM), dan persentase area puncak untuk komponen aktif [17], [18]

Sifat Fisiko-Kimia Tanah Ie Seum

Peralatan untuk pengambilan sampel tanah meliputi sekop, meteran, dan wadah plastik sampel. Pengumpulan sampel pada lapisan atas tanah (0-20 cm) dengan luasan 100 cm x 100 cm. Penelitian ini mengikuti kedalaman tanah pada penelitian sebelumnya [19]. Pengambilan sampel tanah pada satu lokasi perwakilan tanah tempat tumbuhnya tanaman *M. oleifera* di kawasan Ie Seum pada bulan September 2024.

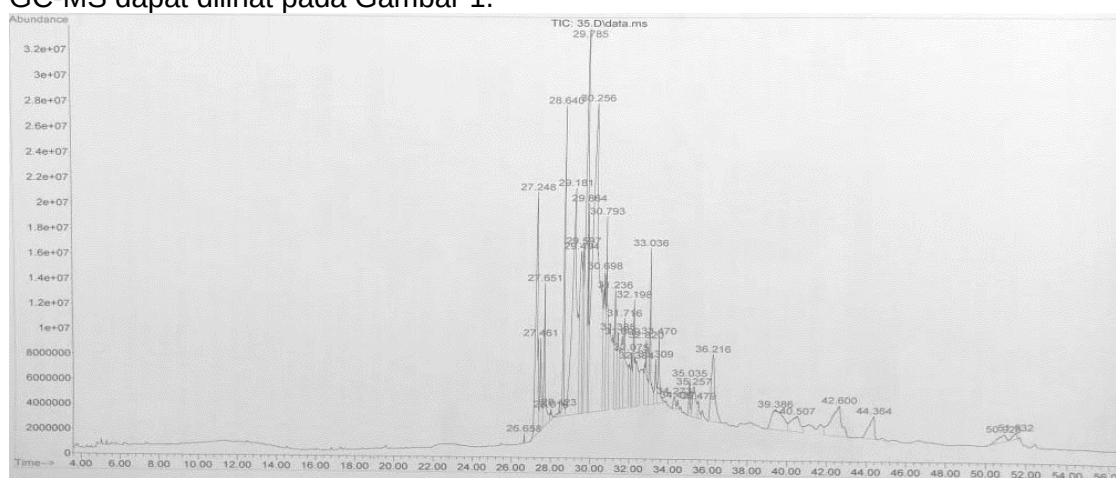
Sampel tanah sebanyak 500 g disortasi, dikeringkan, dihaluskan, dihomogenkan dan siap untuk dianalisis. Karakteristik kimia yang diteliti (KPK) mencakup pH tanah (pH H₂O maupun pH KCl), C-organik (C-org), N-tot (N-total), P tersedia (P-Bray II), K-total, dan kapasitas tukar kation. Metode elektrometrik digunakan untuk menilai pH tanah. Kadar C-org ditentukan berada pada puncaknya. Analisis sifat tanah dilakukan di Laboratorium Tanah Fakultas Pertanian Universitas Syiah Kuala yang meliputi tekstur substrat, pH, karbon organik, N-total, dan P tersedia. Kandungan karbon organik dievaluasi berdasarkan metode Schumacher, dan komposisi substrat diperiksa menggunakan teknik pipet standar. Selanjutnya, tekstur substrat diperoleh melalui metode segitiga tekstur, dihitung berdasarkan proporsi pasir, debu, dan lempung.

Pengujian pH tanah menggunakan pH meter dengan elektroda. Penetapan pH H₂O dengan cara menimbang 10 g tanah kering yang telah lolos ayakan 2 mm, dimasukkan ke dalam botol plastik dan ditambahkan 10 ml aquadest. Sedangkan penetapan pH KCl 1 N dengan teknik yang sama hanya berbeda larutan yang digunakan adalah 10 ml KCl 1N. Selanjutnya pengocokan dilakukan oleh mesin selama 60 menit dan diukur dengan pH meter yang telah dikalibrasi dengan larutan buffer pH 4 dan pH 7. pH dapat dilihat pada LCD pH meter. Pengujian Ntotal melalui metode kjedahl dengan menggunakan sampel tanah, aquadest, H₂SO₄, indikator Conway, selen, NaOH, H₃BO₃, NH₃. Sampel tanah sebanyak 1 gram dimasukkan ke dalam labu kjeldahl dan ditambahkan 2 gram selenium dan 5 ml larutan H₂SO₄. Labu kjeldahl di destruksi ke dalam mesin destruksi selama 30 menit pada suhu 420°C lalu didinginkan selama 20 menit. Selanjutnya ditambahkan 50 ml larutan akuades dan 15 ml larutan NaOH 30% dan didestilasi kembali selama 2 menit. Hasil destilat dimasukkan ke dalam erlenmeyer dan ditambahkan 10 ml larutan H₃BO₃ 4%. Kemudian ditambah indikator campuran metil merah 4 tetes dan green bromokresol 4 tetes dan dititrasi dengan larutan H₂SO₄ 0,05 N sampai warna menjadi merah. Dicatat volume titrasinya. Pengujian fosfor dilakukan dengan menggunakan asam askorbat. Prinsip uji fosfor adalah amonium molibdat bereaksi dengan kalium antimonitrat dalam suasana asam menghasilkan warna kuning, yang kemudian direduksi dengan asam askorbat menghasilkan warna biru[20]–[22]

HASIL

Analisis GC-MS

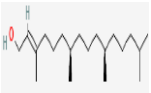
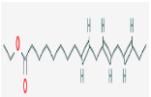
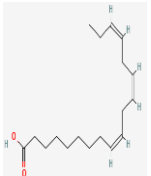
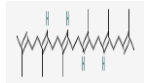
Fungsi fitokimia dalam metabolisme tanaman menentukan klasifikasinya sebagai elemen primer atau sekunder. Selama dekade terakhir, kemajuan signifikan dalam teknik analisis, seperti GCMS, telah muncul, menjadikannya sebagai alat yang ampuh untuk pemisahan, identifikasi, dan penentuan struktur fitokimia. Adapun hasil analisis GC-MS dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 menunjukkan kromatogram EDM dimana dapat dilihat berbagai senyawa kimia yang dibaca oleh GC-MS dan menunjukkan waktu retensinya. Selain itu kromatogram menunjukkan puncak untuk senyawa metabolit sekunder.

Analisis GC-MS pada EDM mengidentifikasi keberadaan sebelas senyawa bioaktif (lihat Tabel 1). Keuntungan GC-MS terletak pada keakuratannya dalam mengidentifikasi zat turunan. Analisis metabolit sekunder menawarkan banyak informasi untuk isolasi dan identifikasi senyawa obat baru. Senyawa dengan puncak paling menonjol adalah hexadecanoic acid, 9,12,15-oktadekatrienoic acid, etil ester, fitol, neofitadiena, etil asam heksadekanoat.

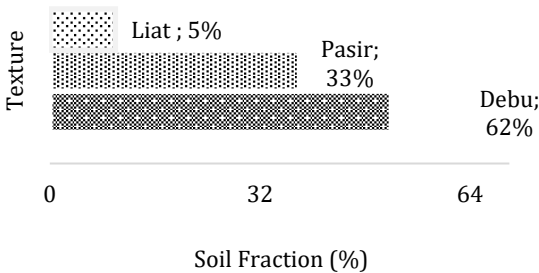
Tabel 1. Senyawa Fitokimia Hasil GC-MS

No	RT	Senyawa	Grup	Struktur	Rumus Molekul	Berat Molekul (g/mol)	%	Fungsi
1	27.24	Neophytadiene	Diterpenoid		C ₂₀ H ₃₈	278.5	5.52	Antiinflamasi, antimikroba, antioksidan[23]
2	28.64	Hexadecanoic acid, ethyl ester	Fatty acid		C ₁₈ H ₃₆ O ₂	284.5	3.12	antikanker, antioksidan, anticancer[24]
3	29.18	Hexadecanoic acid	Fatty acid		C ₁₆ H ₃₂ O ₂	256.4	10.94	Antitumor, antibakteri, antioksidan[25], [26]
4	29.49	Phytol	Diterpenoid		C ₂₀ H ₄₀ O	296.5	3.82	Antikanker, antimikroba, antioksidan, antiinflamasi[7], [27]
5	29.82	9,12,15-octadecatrienoic acid	Fatty acid		C ₂₀ H ₃₄ O ₂	306.5	8.63	Anti[26]
6	30.25	Linolenic acid	Fatty acid		C ₁₈ H ₃₀ O ₂	278.4	21.59	Antioksidan, antithrombotik, jalur mikronutrisi [1], [28]
7	30.38	Methyl 8,11,14-heptadecatrienoate	Fatty acid		C ₁₈ H ₃₀ O ₂	278.4	1.71	Antiinflamasi, antioksidan[29]
8	35.25	Gamma-Tocopherol	Terpenoid		C ₂₈ H ₄₈ O ₂	416.7	1.18	Antioksidan, antiinflamasi[26], [30]
9	33.03	Squalene	Terpenoid		C ₃₀ H ₅₀	410.7	2.02	Anti-inflamasi, antioksidan[31]

No	RT	Senyawa	Grup	Struktur	Rumus Molekul	Berat Molekul (g/mol)	%	Fungsi
10	30.79	Beta-pinone	Hydrocarbons		C ₉ H ₁₄ O	138.2	3.17	Antijamur, antimicroba[32]
11	31.23	Icosane	Hydrocarbons		C ₂₀ H ₄₂	282.5	2.14	Antiinflamasi, antioksidan[33]

Tekstur tanah di Kawasan Geotermal, le Seum

Tekstur tanah memegang peranan penting dalam pembentukan tanah. Tekstur tanah memengaruhi berbagai karakteristik tanah, termasuk retensi air, sirkulasi udara, kerentanan terhadap erosi, konsentrasi bahan organik, kapasitas tukar kation, dan kadar pH [34]. Tekstur tanah ditentukan dengan menganalisis proporsi pasir, lanau, dan lempung. Tekstur tanah mencerminkan berat partikel pasir (0,05-2,00 mm), lanau (0,002-0,05 mm), dan lempung (<0,002 mm). Tekstur tanah di wilayah penelitian diperoleh komponen debu melebihi jumlah liat dan pasir. Tanah lempung berdebu mengandung persentase debu yang tinggi dan memiliki luas permukaan yang signifikan. Klasifikasi tekstur tanah di wilayah le Seum adalah lempung berdebu(Gambar 2).



Gambar 2. Tekstur Tanah di Kawasan le Seum

Salah satu ciri tanah yang subur dan produktif yang telah dikenal sejak lama adalah karbon organik (OC). Istilah "karbon organik tanah" (SOC) mengacu pada karbon yang ditemukan di tanah yang dihasilkan oleh organisme hidup dan aktif. Di wilayah le Seum, karbon organik diukur sebesar 0,89 persen (Tabel 2).

Tabel 2. Parameter Analisis Tanah di Kawasan le Seum

pH H ₂ O (1:2.5)	C-organik (%)	N total (%)	P Bray II (mg kg ⁻¹)	Kation Basa dapat Tukar				Kapasitas Tukar Kation (cmol.kg ⁻¹)	Kejenuhan Basa (%)
				Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺		
7.63	0.89	0.13	3.7	7.23	0.56	0.54	0.30	19.6	44.03

Kadar karbon di lokasi penelitian dikategorikan sebagai sangat rendah (kurang dari 1,00 persen. Tanaman membutuhkan nitrogen (N) dari tanah untuk pertumbuhannya. Sumber utama nitrogen dalam tanah adalah bahan organik. Nitrogen berperan penting dalam mendorong pertumbuhan vegetatif pada tanaman. Kandungan nutrisinya ditemukan sebesar 0,13, yang tergolong rendah nitrogen. Kekurangan nitrogen dalam tanah dapat menyebabkan tanaman mengembangkan daun yang lebih kecil yang berwarna hijau muda dan akhirnya menguning[30], [35].

PEMBAHASAN

Dari sebelas senyawa fitokimia dapat dilihat bahwa sebagian besar memiliki efek antiinflamasi. Namun efek farmakologi lain juga dimiliki oleh beberapa senyawa seperti antifungi, antimikroba, antioksidan, antitrombotik, mikronutrien, antitumor, antikanker,

antinematisida. Oleh karena itu EDM meminimalkan kerusakan jaringan akibat peradangan dan mengurangi stres oksidatif yang terkait dengan aktivitas fisik, menurunkan peradangan dan stres oksidatif dapat meningkatkan penggunaan ATP otot yang efektif, memfasilitasi pemulihan otot, dan mencegah kelelahan. Penelitian terkini menunjukkan bahwa ekstrak daun *M. oleifera* efektif dalam mengurangi stres oksidatif dan peradangan [36]. Dampak EDM yang mengandung squalene pada respons peradangan yang dipicu oleh lipopolisakarida (LPS) telah dipelajari pada makrofag tikus serta pada monosit dan neutrofil manusia [31], [37]. Squalene mengakibatkan penurunan kadar spesies oksigen reaktif (ROS), nitrit, berbagai sitokin (termasuk TNF- α , IL-1 β , IL-6, dan IFN- γ), dan enzim pro-inflamasi (seperti iNOS, COX-2, dan MPO), bersama dengan pengurangan ekspresi TLR4 dan protein utama yang terlibat dalam jalur pensinyalan yang diatur oleh NF- κ B (I κ B α), MAPK (JNK), dan MMP. Penelitian tentang fitol mengungkap sifat antiinflamasi melalui jalur yang terkait dengan COX-1 dan COX-2, bersama dengan NF- κ B dan IL-1 β ([23], [27], [38]). Penelitian lain menemukan bahwa asam n-Heksadekanoat bertindak sebagai penghambat fosfolipase A2, sehingga menjadikannya agen antiinflamasi yang efektif. Selain itu, polifenol yang ditemukan dalam daun *M.oleifera* mungkin merupakan senyawa aktif yang berkontribusi terhadap efek antiinflamasi dan antioksidannya [32], [35].

Tanah di kawasan le Seum memiliki tekstur lempung berdebu. Tanah dengan tekstur lempung berdebu dengan perbandingan debu lebih banyak dibandingkan pasir dan liat. Tanah dengan tekstur lempung berdebu merupakan komposisi volume tanah dimana udara menempati 20-30%, air 20- 30%, mineral 45% dan bahan organik 5% yang optimal bagi pertumbuhan tanaman. Kedudukan udara dan air dalam tanah tidak stabil, sehingga keserasian pertumbuhan tanaman ditentukan oleh hal tersebut. Tekstur lempung berdebu memiliki luas permukaan lebih besar sehingga mampu menahan air dan menyediakan nutrisi bagi tanaman[39]. Tanah jenis ini baik digunakan untuk pertumbuhan tanaman karena mampu menahan air dan cepat menyerap ke dalam tanah. Partikel pasir yang membuat air bebas mengalir ke dalam tanah[40]. Keterbatasan penelitian ini adalah menggunakan pendekatan *single location* dan tidak dilakukan replikasi identifikasi baik pada sampel daun *M. oleifera* maupun sampel tanah sehingga tidak dapat dilihat perbandingan antar spesies atau antar lokasi berbeda.

Keberadaan fosfor (P), nitrogen (N), kalium (K) dan kalsium (Ca) pada tanah di wilayah le Seum sangat penting untuk pertumbuhan tanaman[41]. Fosfor memicu pertumbuhan akar dan bagian tubuh tanaman dan meningkatkan daya tahan terhadap hama. Unsur K dan Ca berperan dalam proses fotosintesis, asimilasi, dan mempengaruhi keberadaan unsur hara mikro[42]. Unsur kimia pada tanah memberikan pengaruh dengan diperolehnya 11 senyawa yang teridentifikasi melalui GC-MS.

SIMPULAN

Kandungan berbagai senyawa aktif pada EDM seperti fitol, squalene, gamma tokoferol dan senyawa lainnya melalui uji GC-MS diketahui memiliki efek antiinflamasi. Hal ini sangat didukung oleh kondisi tanah di kawasan le Seum, Aceh Besar yang dinilai baik untuk pertumbuhan *M. oleifera* sehingga memungkinkan untuk dikembangkan tanaman ini sebagai obat tradisional dalam mengatasi berbagai masalah Kesehatan terutama mengatasi inflamasi. Penelitian selanjutnya diharapkan dapat menguji EDM dari Lokasi yang berbeda.

DAFTAR RUJUKAN

- [1] T. D. Santi and A. Candra, "Skrining Fitokimia Dan Karakteristik Salep Daun Averrhoa bilimbi," *BIOMA J. Biol. Makassar*, vol. 8, no. 1, pp. 23–31, 2023.
- [2] A. Sofowora, E. Ogunbodede, and A. Onayade, "The Role and Place of Medicinal Plants in the Strategies for Disease Prevention," *Afr J Tradit Complement Altern Med*, vol. 10, no. 5, pp. 210–29, 2013.

- [3] H. Yuan *et al.*, “How Can Synergism of Traditional Medicines Benefit from Network Pharmacology?,” *Molecules*, vol. 22, no. 7, p. 1135, 2017.
- [4] A. Candra, Y. Fahrimal, Yusni, Azwar, and T. D. Santi, “Phytochemistry and antifatigue activities of *Carica papaya* leaf from geothermal, coastal and urban areas, Indonesia,” *Narra J*, vol. 4, no. 1, pp. 1–9, 2024, doi: <http://doi.org/10.52225/narra.v4i1.321>.
- [5] A. Altemimi, N. Lakhssassi, A. Baharlouei, D. G. Watson, and D. A. Lightfoot, “Phytochemicals: Extraction, Isolation and Identification of Bioactive Compounds from Plant Extracts,” *Plants*, vol. 6, no. 2, p. 42, 2017.
- [6] T. D. Santi, T. N. Siregar, A. Sutriana, R. Andini, and A. Candra, “Phytochemical test and optimization of transdermal patches of *Carica papaya* extract: Formulation design of candidate drug for wound healing,” *Biodiversitas*, vol. 23, no. 6, pp. 2904–2913, 2022, doi: [10.13057/biodiv/d230617](https://doi.org/10.13057/biodiv/d230617).
- [7] T. D. Santi, T. N. Siregar, A. Sutriana, R. Andini, and A. Candra, “Wound Healing Activity of Transdermal Patches of *Carica Papaya*, *Chromolaena Odorata*, and *Averrhoa Bilimbi* Leaves on Incision Wounds of Hyperglycemic Rat,” *Trends Sci.*, vol. 20, no. 12, p. 6944, 2023, doi: <https://doi.org/10.48048/tis.2023.6944>.
- [8] M. E. Ojewumi, O. R. Obanla, S. O. Taiwo, and A. N. John, “Phytochemical Screening And Microbial Assessment Of *Moringa Oleifera* Seed Crude Oil Extract,” *Rasayan J. Chem.*, vol. 15, no. 1, pp. 12–19, 2022, doi: [10.31788/RJC.2022.1516543](https://doi.org/10.31788/RJC.2022.1516543).
- [9] M. A. Nwachokor, F. O. Uzu, and W. A. Molindo, “Variations in Physicochemical Properties and Productivity Implications for Four Soils in the Derived Savannah of Southern Nigeria,” *Am. J. Agron.*, vol. 2, no. 1, pp. 124–129, 2009.
- [10] C. M. & E. A. Adele Muscolo, Maria Sidari, Giovanna Settineri, Teresa Papalia, “Influence of Soil Properties on Bioactive Compounds and Antioxidant Capacity of *Brassica rupestris* Raf.,” *J. Soil Sci. Plant Nutr.*, vol. 19, pp. 808–815, 2019.
- [11] R. Gentili, R. Ambrosini, C. Montagnani, S. Caronni, and S. Citterio, “Effect of soil pH on the Growth, Reproductive Investment and Pollen Allergenicity of *Ambrosia artemisiifolia* L.,” *Plant Sci.*, vol. 9, no. September, pp. 1–12, 2018, doi: [10.3389/fpls.2018.01335](https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01335).
- [12] A. Ullah *et al.*, “Important flavonoids and their role as a therapeutic agent,” *Molecules*, vol. 25, no. 22, pp. 1–39, 2020, doi: [10.3390/molecules25225243](https://doi.org/10.3390/molecules25225243).
- [13] A. J. Miraj *et al.*, “Evaluation of the analgesic and anti-inflammatory activities of methanolic extracts of the leaves of *Averrhoa bilimbi* leaves,” *Discov. Phytomedicine*, vol. 6, no. 1, p. 12, 2019, doi: [10.15562/phytomedicine.2019.77](https://doi.org/10.15562/phytomedicine.2019.77).
- [14] M. A. Hossain, N. K. Disha, J. H. Shourove, and P. Dey, “Determination of Antioxidant Activity and Total Tannin from Drumstick (*Moringa oleifera* Lam.) Leaves Using Different Solvent Extraction Methods,” *Turkish J. Agric. - Food Sci. Technol.*, vol. 8, no. 12, pp. 2749–2755, 2020, doi: [10.24925/turjaf.v8i12.2749-2755.4038](https://doi.org/10.24925/turjaf.v8i12.2749-2755.4038).
- [15] P. Bhardwaj, C. Kumar Jain, and A. Mathur, “Comparative analysis of saponins, flavonoids, phenolics and antioxidant activities of field acclimatized and in vitro propagated *Bacopa monnieri* (L.) Pennell from different locations in India,” *Indian J. Exp. Biol.*, vol. 57, no. April, pp. 259–268, 2019.
- [16] A. R. Jalalvand *et al.*, “Chemical characterization and antioxidant, cytotoxic, antibacterial, and antifungal properties of ethanolic extract of *Allium Saralicum* R.M. Fritsch leaves rich in linolenic acid, methyl ester,” *J. Photochem. Photobiol. B Biol.*, vol. 192, no. January, pp. 103–112, 2019, doi: [10.1016/j.jphotobiol.2019.01.017](https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2019.01.017).
- [17] M. Sermakkani and V. Thangapandian, “GC-MS analysis of *Cassia italica* leaf methanol extract,” *Asian J. Pharm. Clin. Res.*, vol. 5, no. 2, pp. 90–94, 2012.
- [18] N. Khan *et al.*, “Selection of GCMs for the projection of spatial distribution of heat waves in Pakistan,” *Atmos. Res.*, vol. 233, p. 104688, 2020, doi: [10.1016/j.atmosres.2019.104688](https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2019.104688).
- [19] S. Zhang, T. Huffman, and X. Zhang, “Spatial distribution of soil nutrient at depth in black

- soil of Northeast China: a case study of soil available phosphorus and total phosphorus,” *J Soils Sediments*, vol. 14, no. November, pp. 1775–1789, 2014, doi: 10.1007/s11368-014-0935-z.
- [20] A. Asfianti, “Perbandingan Metode Sederhana Uji pH Tanah menggunakan pH meter, Lakmus, dan PUTK pada Sampel Tanah di Kabupaten Garut Jawa Barat (Comparison of Simple Methods of Soil pH Test using pH meter, litmus, and PUTK on Soil Samples in Garut District, West Java),” *J. Agrotechnonogy Sci.*, vol. 8, no. 2, pp. 46–52, 2024, [Online]. Available: www.journal.uniga.ac.id
- [21] D. Setyaningrum, U. Kasanah, and Z. Anisa, “Analisis Ph Dan Kadar Nitrogen Total Menggunakan Metode Kjeldah Pada Pupuk Organik Padat,” *J. Kim. dan Ilmu Lingkung.*, vol. 2, no. 2, pp. 123–128, 2024, [Online]. Available: <https://ojs.ejournalunigoro.com/index.php/CHEMVIRO/article/view/623>
- [22] Balai Penelitian Tanah, *Analisis Kimia Tanah, Tanaman, Air, dan Pupuk*. Bogor: Departemen Pertanian, 2005.
- [23] M. A. K. Zaman, A. M. Azzeme, S. N. Ramli, N. A. Shaharuddin, S. Ahmad, and S. N. A. Abdullah, “Solvent Extraction and Its Effect on Phytochemical Yield and Antioxidant Capacity of Woody Medicinal Plant, *Polyalthia bullata*,” *BioResources*, vol. 15, no. 4, pp. 9555–9568, 2020, doi: 10.15376/biores.15.4.9555-9568.
- [24] L. Ravi and K. Krishnan, “Cytotoxic Potential of N-hexadecanoic Acid Extracted from *Kigelia pinnata* Leaves,” *Asian J. Cell Biol.*, vol. 12, no. 1, pp. 20–27, 2016, doi: 10.3923/ajcb.2017.20.27.
- [25] T. D. Santi, “Uji Toksisitas Akut dan Efek Antiinflamasi Ekstrak Metanol dan Ekstrak n-Heksana Daun Pepaya (*Carica papaya* L.),” *Pharm. Sci. Res.*, vol. 2, no. 2, pp. 101–114, 2015, doi: 10.7454/psr.v2i2.3341.
- [26] A. Candra, Y. Fahrimal, Yusni, Azwar, and T. D. Santi, “Soil Chemistry, Phytochemistry, and GC-MS Profils of *Moringa* Leaves (*Moringa oleifera*) as an Antifatigue Candidate From Geothermal, Coastal, and Urban Areas in Aceh Besar District and Banda Aceh Municipality, Indonesia,” *Rasayan J. Chem.*, vol. 16, no. 3, pp. 1333–1341, 2023, doi: 10.31788/RJC.2023.1638128.
- [27] N. U. Olivia, U. C. Goodness, and O. M. Obinna, “Phytochemical profiling and GC-MS analysis of aqueous methanol fraction of *Hibiscus asper* leaves,” *Futur. J. Pharm. Sci.*, vol. 7, no. 1, 2021, doi: 10.1186/s43094-021-00208-4.
- [28] P. Sankarganesh, B. Joseph, A. Ganesh Kumar, S. Illanjiam, and T. Srinivasan, “Phytomedicinal chemistry and pharmacognostic value of carica papaya L., Leaf,” *J. Pure Appl. Microbiol.*, vol. 12, no. 2, pp. 751–756, 2018, doi: 10.22207/JPaM.12.2.35.
- [29] L. A. Zhuravleva, S. S. Zykova, V. S. Talismanov, and O. G. Karmanova, “Antioxidant and anti-radical effects of quercetin and rutin: Methyl linoleate model,” *Int. J. Pharm. Res.*, vol. 11, no. 4, pp. 168–175, 2019, doi: 10.31838/ijpr/2019.11.04.027.
- [30] T. D. Santi, R. Zakaria, A. Candra, and M. Dharma Nauval, “Analysis Active Compounds of *Carica papaya*, *Averrhoa bilimbi*, and *Chromolaena odorata* Leaves from Geothermal Area,” *AIP Conf. Proc.*, vol. 2583, no. January, 2023, doi: 10.1063/5.0116236.
- [31] A. Cárdeno, M. Aparicio-Soto, S. M. la Paz, B. Bermudez, F. J. G. Muriana, and C. Alarcón-de-la-Lastra, “Squalene targets pro- and anti-inflammatory mediators and pathways to modulate over-activation of neutrophils, monocytes and macrophages,” *J. Funct. Foods*, vol. 14, no. 4, pp. 779–790, 2015, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.03.009>.
- [32] A. . Daniels and T. Temikotan, “Fatty acid profile, antioxidant and antibacterial effect of the ethyl acatate extract of *cleistopholis patens*,” *Bull. Sci. Res.*, vol. 3, no. 1, pp. 21–31, 2021, doi: 10.34256/bsr2113.
- [33] T. Marrufo *et al.*, “Chemical Composition and Biological Activity of the Essential Oil from Leaves of *Moringa oleifera* Lam. Cultivated in Mozambique,” *Molecules*, vol. 18, no. 9, pp. 10989–11000, 2013, doi: <https://doi.org/10.3390/molecules180910989>.

- [34] B. Hristov, "Importance of soil texture in Soil Classification systems," *J. Balk. Ecol.*, vol. 16, no. 2, pp. 137–139, 2013.
- [35] D. C. Plett, K. Ranathunge, V. J. Melino, N. Kuya, and Y. Uga, "The intersection of nitrogen nutrition and water use in plants : new paths toward improved crop productivity," *J. Exp. Bot.*, vol. 71, no. 15, pp. 4452–4468, 2020, doi: 10.1093/jxb/eraa049.
- [36] F. Abdulhafiz *et al.*, "LC–TOF-MS/MS and GC-MS based phytochemical profiling and evaluation of wound healing activity of *Oroxylum Indicum* (L.) Kurz (Beka)," *Front. Pharmacol.*, vol. 13, no. November, pp. 1–14, 2022, doi: 10.3389/fphar.2022.1050453.
- [37] A. Candra and T. D. Santi, "Efektivitas Ekstrak Daun Pepaya (*Carica papaya* L) sebagai antiinflamasi," *J. Aceh Med.*, vol. 1, no. 2, pp. 63–66, 2017.
- [38] G. Umarani and S. Nethaji, "Gas Chromatography and Mass Spectroscopic Analysis of *Erythrina variegata* Leaf Extract," *J. Nat. Remedies*, vol. 21, no. 10, p. 2, 2021.
- [39] A. Muscolo, M. Sidari, G. Settineri, and E. Al, "Influence of Soil Properties on Bioactive Compounds and Antioxidant Capacity of *Brassica rupestris* Raf.," *J Soil Sci Plant Nutr*, vol. 19, no. Desember, pp. 818–815, 2019.
- [40] S. Hardjowigeno, *Ilmu Tanah*. Jakarta: Akademi Pessindo, 2007.
- [41] A. Aziz, "Kompos Organik Limbah Jamur dengan Aktivator Ampas Tahu," *J. Ilm. Biol. "Bioscientist"*, vol. 1, no. 1, pp. 26–32, 2014.
- [42] Y. Rusmanta, "Pengaruh Perladangan Tradisional Terhadap Ketersediaan Unsur - Unsur Hara (Na, K, Ca, Dan Mg) dalam Tanah di Kampung Wananuk Distrik Yalengga Kabupaten Jayawijaya," *Avogadro J. Kim.*, vol. 2, no. 1, pp. 10–14, 2018.